

Microwave-plasma CVD appts. - with multi-element microwave inlet window having cavity resonance structure

Patent number: DE3730086
Publication date: 1988-03-31
Inventor: FUJIYAMA YASUTOMO (JP)
Applicant: CANON KK (JP)
Classification:
- international: C23C16/50; H01L21/205; C23C16/24; G03G5/05; G02B1/10
- european: C23C16/511; G03G5/082; H01J37/32H3B
Application number: DE19873730086 19870908
Priority number(s): JP19860212344 19860909

Also published as:

 JP63069980 (A)

[Report a data error here](#)

Abstract of DE3730086

Appts. for forming a functional deposited layer by a chemical microwave-plasma deposition process (MW-PCVD process), comprises a closed vapour deposition chamber equipped with a substrate holder, a sensor gas supply system, a suction system and a window in the chamber wall allowing microwave transmission from a microwave energy source. The novelty is that the microwave transparent window (2) has a cavity resonance structure and consists of either (a) a number of components stacked in the direction of microwave transmission or (b) a number of dielectric blocks arranged so that they intersect the microwave electric force lines. USE/ADVANTAGE - The appts. is esp. useful for forming functional layers such as amorphous silicon layers on substrates, esp. in semiconductor devices in light sensitive devices for use in electrophotography, image input line scanners, image recorders, photoelectronic motive devices, and the like. The window design allows adjustment of the resonance frequency characteristic line and the electromagnetic resonance wave type to obtain resonance with the microwave oscillation frequency.

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 37 30 086 A 1**

⑳ Aktenzeichen: P 37 30 086.5
㉔ Anmeldetag: 8. 9. 87
㉕ Offenlegungstag: 31. 3. 88

㉖ Int. Cl. 4:
C23 C 16/50
H 01 L 21/205
// C23C 16/24,
G03G 5/05,
G02B 1/10

DE 3730086 A1

㉚ Unionspriorität: ㉚ ㉛ ㉜
09.09.86 JP P 61/212344

㉞ Anmelder:
Canon K.K., Tokio/Tokyo, JP

㉟ Vertreter:
Tiedtke, H., Dipl.-Ing.; Bühling, G., Dipl.-Chem.;
Kinne, R., Dipl.-Ing.; Grupe, P., Dipl.-Ing.; Pellmann,
H., Dipl.-Ing.; Grams, K., Dipl.-Ing.; Struif, B.,
Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Winter, K., Dipl.-Ing.; Roth,
R., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 8000 München

㉡ Erfinder:
Fujiyama, Yasutomo, Tokio/Tokyo, JP

㉣ **Vorrichtung zur Ausbildung einer funktionellen Abscheidungsschicht mittels eines chemischen Mikrowellen-Plasma-Beschichtungsverfahrens**

Eine verbesserte Vorrichtung zur Ausbildung einer funktionellen Abscheidungsschicht mit Hilfe eines chemischen Mikrowellen-Plasma-Abscheidungsverfahrens ist dadurch gekennzeichnet, daß für Mikrowellen durchlässiges dielektrisches Material als Mikrowellen-Eintrittsfenster verwendet wird und dieses Fenster einen Aufbau hat, wobei das dielektrische Material geteilt ist oder zusätzlich mit einem anderen dielektrischen Material kombiniert wird, wodurch es möglich ist, nicht nur die Kennlinie der Resonanzfrequenz zu justieren, sondern auch den elektromagnetischen Resonanzwellentyp des Fensters, so daß Resonanz mit der Mikrowellen-Oszillationsfrequenz besteht.

DE 3730086 A1

1. Vorrichtung zur Ausbildung einer funktionellen Abscheidungsschicht mittels eines chemischen Mikrowellen-Plasma-Abscheidungsverfahrens, wobei die Vorrichtung eine im wesentlichen geschlossene, mit einem Substratträger ausgestattete Aufdampfkammer, eine Rohmaterialgas-Zufuhreinrichtung, eine Absaugeinrichtung und eine Übertragung einer Mikrowelle von einer Mikrowellenenergiequelle erlaubendes Fenster als ein Wandbauteil der Aufdampfkammer umfaßt, dadurch gekennzeichnet, daß das eine Hohlraumresonanzstruktur aufweisende Fenster (2) aus einem für Mikrowellen durchlässigen Material besteht und einen Aufbau hat, wobei eine Mehrzahl von Bauteilen (9, 10, 11, 12, 13) in der Richtung der Mikrowellenübertragung geteilt aufeinandergesetzt ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Fenster aus den gleichen oder verschiedenartigen, für Mikrowellen durchlässigen Materialien gebildet ist, von denen jedes eine spezifische Dielektrizitätskonstante von mehr als 1,0 hat.
3. Vorrichtung zur Ausbildung einer funktionellen Abscheidungsschicht mittels eines chemischen Mikrowellen-Plasma-Abscheidungsverfahrens, wobei die Vorrichtung eine im wesentlichen geschlossene, mit einem Substratträger ausgestattete Aufdampfkammer, eine Rohmaterialgas-Zufuhreinrichtung, eine Absaugeinrichtung und eine Übertragung einer Mikrowelle von einer Mikrowellenenergiequelle erlaubendes Fenster als ein Wandbauteil der Aufdampfkammer umfaßt, dadurch gekennzeichnet, daß das eine Hohlraumresonanzstruktur aufweisende Fenster (2) aus einem Mikrowellen übertragenden Material besteht und einen Aufbau aufweist, wobei eine Mehrzahl von dielektrischen Blöcken (13) so angeordnet ist, daß sie die elektrische Kraftlinie der Mikrowelle schneiden.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Fenster aus den gleichen oder verschiedenartigen, Mikrowellen übertragenden Materialien gebildet ist, von denen jedes eine spezifische Dielektrizitätskonstante von mehr als 1,0 hat.

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Ausbildung einer Abscheidungsschicht mit Hilfe eines chemischen Mikrowellen-Plasma-Beschichtungsverfahrens, und zwar insbesondere auf die Ausbildung einer funktionellen Abscheidungsschicht, wie einer amorphen Siliziumschicht, auf einem Substrat, die vor allem in Halbleitereinrichtungen, in lichtempfindlichen Einrichtungen zur Verwendung in der Elektrophotographie, für Bildeingabe-Zeilenabtaster, für Bildaufnahmegeräte, für photoelektrische Leistungseinrichtungen o. dgl. verwendbar ist.

Bisher wurden als Bauelemente von Halbleitereinrichtungen, lichtempfindlichen Einrichtungen, Bildeingabe-Zeilenabstastern, Bildaufnahmegeräten oder anderen elektrischen sowie optischen Einrichtungen mehrere Abscheidungs- oder Niederschlagsschichten, wie amorphe Halbleiterschichten, beispielsweise eine amorphe Abscheidungsschicht aus einem amorphen Siliziummaterial, das mit Wasserstoff- oder/und Halogenatomen kompensiert ist, wie mit Fluor- oder Chloratomen (im folgenden als "A-Si(H, X)" bezeichnet), vorge-

schlagen. Einige dieser Schichten haben in der Praxis Anwendung gefunden.

Zusammen mit diesen amorphen Halbleiterschichten wurden verschiedene Verfahren zu ihrer Herstellung unter Verwendung einer chemischen Plasma-Abscheidungstechnik vorgeschlagen, wobei ein Ausgangsmaterial zersetzt wird, indem es der Einwirkung einer Energie eines Gleichstroms, einer Hochfrequenz oder einer Mikrowelle ausgesetzt wird, um dadurch eine Abscheidungsschicht auf einem Substrat aus Glas, Quarz, hitzebeständigem Kunstharz, rostfreiem Stahl oder Aluminium zu bilden. Auch wurden verschiedene Vorrichtungen, um diese Verfahren in die Praxis umzusetzen, vorgeschlagen.

In den letzten Jahren hat sich nun die allgemeine Aufmerksamkeit auf ein chemisches Plasma-Abscheidungsverfahren mit Hilfe einer Mikrowellen-Glühentladungszersetzung, im folgenden als "MW-PCVD-Verfahren" bezeichnet, auch auf industriellem Niveau konzentriert.

Eine repräsentative Vorrichtung zur Durchführung dieses MW-PCVD-Verfahrens weist den in einer schematischen Schrägansicht in Fig. 2 (A) gezeigten Aufbau auf.

Die Fig. 2 (A) zeigt eine im wesentlichen geschlossene, zylindrische Aufdampfkammer 1 mit einer (nicht gezeigten) Zufuhrvorrichtung für ein Ausgangsmaterial- oder Rohgas, ein Mikrowellen-Eintrittsfenster 2, das aus einem dielektrischen Material einer Aluminiumoxidkeramik oder aus einem geschmolzenen Siliziumdioxid besteht, einen Wellenleiter 3, der elektrisch mit einer (nicht gezeigten) Mikrowellen-Energiequelle verbunden ist, eine von der Mikrowellen-Energiequelle ausgehende Mikrowelle 4, ein durch ein Ablassventil (Hauptventil) an eine (nicht gezeigte) Absaugvorrichtung (Saugpumpe) angeschlossenes Austrittsrohr 5, ein Substrat 6, auf dem eine Abscheidungsschicht ausgebildet werden soll und das auf einem Substratträger mit einer (nicht gezeigten) elektrischen Heizeinrichtung angebracht ist, sowie einen Schichtbildungs- oder Plasmaerzeugungsraum 7 mit einer Resonanzstruktur.

Der Vorgang zur Ausbildung der Schicht in der in Fig. 2 (A) gezeigten Vorrichtung wird z. B. auf die folgende Weise ausgeführt.

Durch Öffnen des Hauptventils des Austrittsrohres 5 wird der Schichtbildungsraum 7 evakuiert, um in diesem ein vorbestimmtes Vakuum zu erzeugen. Dann wird die im Substratträger eingebaute Heizeinrichtung aktiviert, um das Substrat 6 auf eine vorgegebene Temperatur gleichförmig aufzuheizen, wobei das Substrat auf dieser Temperatur gehalten wird.

Im Fall der Ausbildung einer amorphen Siliziumschicht werden gleichzeitig Rohgase, z. B. Silangas (SiF_4 -Gas) und H_2 -Gas, durch die Gaszufuhreinrichtung mit jeweils einer vorbestimmten Durchsatzmenge in den Schichtbildungsraum 7 der Aufdampfkammer 1 eingeführt, während dieser Raum auf einem Unterdruck von weniger als $1,33 \times 10^{-2}$ mbar gehalten wird. Anschließend wird die Mikrowelle 4 von z. B. 2,45 GHz von der Mikrowellen-Energiequelle durch einen Isolator, ein Leistungsüberwachungsgerät, eine Abstim-Stichleitung, die nicht dargestellt sind, durch den Wellenleiter 3 und das Mikrowellen-Eintrittsfenster 2 in den Schichtbildungsraum 7 der Aufdampfkammer 1 eingeführt.

Auf diese Weise werden in dem Schichtbildungsraum 7 Plasmen erzeugt und chemische Wechselwirkungen hervorgerufen, woraus die Bildung der Abscheidungsschicht auf dem Substrat 6 resultiert.

Eine andere repräsentative Vorrichtung zur Umset-

zung des MW-PCVD-Verfahrens weist den schematisch in der Schrägansicht von Fig. 3 (A) gezeigten Aufbau auf.

Die Fig. 3 (A) zeigt eine im wesentlichen geschlossene, zylindrische Aufdampfkammer 1, ein aus einem dielektrischen Material von Aluminium-oxidkeramik oder geschmolzenem Siliziumdioxid gefertigtes Mikrowellen-Eintrittsfenster 2, einen Wellenleiter 3, eine von einer (nicht gezeigten) Mikrowellen-Energiequelle ausgehende Mikrowelle 4, ein durch ein Ventil an eine (nicht gezeigte) Saugpumpe angeschlossenes Austrittsrohr 5, ein Substrat 6' von zylindrischer Gestalt, das auf einem Substratträger mit einer elektrischen Heizeinrichtung 15 angeordnet ist, einen Schichtbildungsraum 7 und ein mit einer Anzahl von Gasabgabeöffnungen versehenes Gaszufuhr-Ringrohr 16, das mit (nicht gezeigten) Gas speichern in Verbindung steht.

Der Vorgang zur Ausbildung der Schicht auf dem Substrat 6' in zylindrischer Form unter Verwendung der Vorrichtung von Fig. 3 (A) wird in der gleichen Weise, wie zur Vorrichtung von Fig. 2 (A) geschildert wurde, durchgeführt.

Bei den bekannten Vorrichtungen zur Ausbildung einer Abscheidungsschicht unter Verwendung des MW-PCVD-Verfahrens sind die im Schichtbildungsraum 7 erzeugten Plasmen ionisierte Medien, die Elektronen und Ionenpartikel enthalten, so daß sie als eine Art von Leiter wirken. Insbesondere sind im Fall, da Plasmen mit einer Mikrowellenenergie von 2,45 GHz erregt werden, Ionenpartikel, die zu einer Bewegung im Zusammenhang mit der eine hohe Frequenz aufweisenden Oszillation imstande sind, auf solche einer niedrigen Masse, wie Elektronen, beschränkt. Deshalb ist es in dem Fall, da die Dichte der erzeugten Plasmen in Betracht gezogen wird, ausreichend, die Elektronendichte zu beachten. Wenn unter solchen Bedingungen, daß das Vakuum $2,66 \cdot 10^{-2}$ mbar beträgt und die Mikrowellenenergie 200 W ist, erzeugte Plasmen solche Niederdruck-Entladungsplasmen sind, die eine Elektronentemperatur (T_e) von etwa 40 Elektronenvolt (eV) und eine Elektronendichte $n_e = 10^{17} \text{ m}^{-3}$ haben, so wird jedoch die Mikrowelle von 2,45 GHz an der Plasma-Grenz- oder Trennfläche, die etwa $10 \mu\text{m}$ vom Mikrowellen-Eintrittsfenster entfernt liegt, reflektiert, so daß sie nicht in die Plasmen eingeführt werden kann. Auf Grund dessen wird die Plasmadichte mit wachsendem Abstand vom Mikrowellen-Eintrittsfenster abrupt vermindert.

Um eine gewünschte Abscheidungsschicht, die aus einem A-Si(H, X)-Material besteht, auf einem großflächigen Substrat unter Verwendung von Mikrowellen-Plasmen mit Hilfe einer herkömmlichen Vorrichtung, wie sie oben beschrieben wurde, auszubilden, so ist es im Hinblick auf die obigen Feststellungen notwendig, ein Mikrowellen-Eintrittsfenster mit einer großen Öffnung zu verwenden.

In diesem Fall muß ein solches Mikrowellen-Eintrittsfenster an einer Vorrichtung so angeordnet werden, daß es in jedem Fall als eine Wand der Vakuum-Aufdampfkammer 1 dient, wodurch unvermeidbar die Abmessungen der Vorrichtung groß werden, was Probleme in bezug auf die Festigkeit der Vorrichtung nach sich zieht. Auf Grund dessen besteht eine Notwendigkeit, die Vorrichtung unter sehr sorgfältigen Erwägungen zu konstruieren. Weil folglich dann auch das Volumen des Schichtbildungsraumes 7 groß wird, treten zusätzlich weitere Probleme auf, die mit der Ausnutzungsleistung eines Rohgasmaterials zusammenhängen, da diese durch das große Volumen vermindert wird. Selbst wenn

ein Produkt mit einer gewünschten Abscheidungsschicht erzeugt werden sollte, so wird es im Hinblick auf die obigen Ausführungen kostspielig.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die obigen Probleme, die bei herkömmlichen Vorrichtungen zur Ausbildung einer Abscheidungsschicht unter Verwendung des MW-PCVD-Verfahrens auftreten, zu beseitigen und eine Vorrichtung zur Durchführung eines MW-PCVD-Verfahrens zu schaffen, die es ermöglicht, eine gewünschte funktionelle Abscheidungsschicht, welche als ein Bauteil für Halbleitereinrichtungen, Photoleitereinrichtungen in der Elektrophotographie, lichtempfindliche Einrichtungen oder andere elektrische und optische Vorrichtungen verwendbar ist, mit einer hohen Abscheidungs- oder Niederschlagsrate in stabiler, konstanter Weise auszubilden.

Ein Ziel der Erfindung liegt hierbei darin, eine verbesserte Vorrichtung zur Ausbildung einer A-Si(H, X)-Abscheidungsschicht unter Verwendung des MW-PCVD-Verfahrens zu schaffen, bei der das Mikrowellen-Eintrittsfenster unter Verwendung eines dielektrischen Materials so ausgelegt und konstruiert ist, daß sein Resonanzzustand in geeigneter, richtiger Weise in Übereinstimmung mit der aus einem dielektrischen Material aufgebauten Struktur eingeregelt werden kann, um zu erreichen, daß eine Mikrowellenenergie wirksam in die Plasmen eingebracht wird.

Der Erfinder hat ausgedehnte Versuche und Untersuchungen angestellt, um die den oben beschriebenen herkömmlichen Vorrichtungen anhaftenden Nachteile zu überwinden und die Aufgabe zu lösen sowie die gesetzten Ziele zu erreichen, wobei das Ergebnis die im folgenden beschriebenen Maßnahmen der Erfindung sind.

Es wurde gefunden, daß im Fall, da das Niederdruck-Entladungsplasma (Elektronendichte $n_e = 10^{15} - 10^{17} \text{ m}^{-3}$), das durch eine Mikrowelle erregt wird, als ausreichend selbsterregt anzusehen ist, sowohl die Gestalt des Mikrowellen-Eintrittsfensters wie diejenige des Schichtbildungsraumes jeweils eine solche Struktur haben müssen, die als ein Mikrowellen-Resonator wirkt.

Des weiteren wurde gefunden, daß in dem Fall, da ein anderer Raum als der Raum zur Bildung einer koaxialen Resonanzstruktur, z. B. die Öffnung des Austrittsrohres od. dgl., eine Öffnung hat, die das Einführen einer Mikrowelle zuläßt, ein solcher Raum auch als ein Teil des Mikrowellen-Resonators wirken wird. Insbesondere werden, wenn eine Austrittsöffnung od. dgl. innerhalb des Wellenleiters vorhanden ist, die auf einer hohen Unterdruckatmosphäre gehalten wird, die Resonanzbedingungen in unerwünschter Weise verschoben.

Auf der Grundlage der obigen Feststellungen hat der Erfinder versucht, eine Vorrichtung, wie sie in den Fig. 2 (B) und 3 (B) gezeigt sind, zu schaffen, um die den oben erwähnten herkömmlichen Vorrichtungen anhaftenden Nachteile zu überwinden. Bei beiden Vorrichtungen ist ein Mikrowellen-Reflexionselement 8 aus einer gelochten Metallplatte, die viele Lochungen ($1 \text{ mm} - 3,58 \text{ cm}$) aufweist, oder eine Metallgitterplatte (Maschengröße von $1 \text{ mm} - 3,58 \text{ cm}$) an der Öffnung des Austrittsrohres 5 im Schichtbildungsraum angeordnet, so daß die Platte scheinbar die Öffnung abdichtet.

In dem Fall, da die Gestalt eines Mikrowellen-Eintrittsfensters eine Resonanzstruktur aufweisen soll, wird dieses Mikrowellen-Eintrittsfenster in der folgenden Weise ausgelegt oder konstruiert.

Wenn das Mikrowellen-Eintrittsfenster vom TE_{11} -Resonanzwellentyp sein und die Resonanzwellen-

länge $\lambda = 12,245$ cm (die Resonanzfrequenz von 2,45 GHz) betragen soll, so kann die Größe des Mikrowellen-Eintrittsfensters angenähert aus der folgenden Formel in Übereinstimmung mit der bekannten Theorie des koaxialen Resonators bestimmt werden:

$$\lambda = 2\pi / \sqrt{(1,84/a \sqrt{\epsilon})^2 + (\pi/d \sqrt{\epsilon})^2},$$

worin "a" den Radius (cm) eines kreisförmigen Resonanzfensters, "d" dessen Dicke (cm) und " ϵ " die spezifische Dielektrizitätskonstante bezeichnen.

In dieser Beziehung werden beispielsweise im Fall des aus einer Aluminiumoxidkeramik von 99,5% Reinheit (spezifische Dielektrizitätskonstante $\epsilon = 10$) gefertigten Mikrowellen-Eintrittsfensters Resonanzbedingungen erfüllt, wenn der Radius a des Mikrowellen-Eintrittsfensters mit 9,5 cm und dessen Dicke d mit 1,95 cm festgesetzt werden. Hierbei entspricht die Dicke d darstellende Länge von 1,95 cm einer halben Wellenlänge einer Mikrowelle, die in einem Aluminiumoxidkeramikmedium übertragen wird.

Der Resonanzzustand des aus einer Aluminiumoxidkeramik von 2,0 cm Dicke bestehenden Mikrowellen-Eintrittsfensters in der Vorrichtung von Fig. 2 (B) wurde dann gemessen. Die in Fig. 2 (C) gezeigte ausgezogene Linie gibt die durch die Messung der Resonanzfrequenzkennlinie erhaltenen Ergebnisse wieder.

In Fig. 2 (C) sind auf der horizontalen Achse die Frequenz (Einheit GHz) und auf der senkrechten Achse der Reflexionsverlust (Einheit dB), der im folgenden als "RL" abgekürzt wird, aufgetragen. Hierbei wird der Reflexionsverlust (RL) angesehen als:

$$RL = -20 \log_{10} \rho,$$

und zwar aus dem Reflexionskoeffizient

$$\rho = V_R / V_F,$$

der dem Verhältnis des elektrischen Reflexionsvermögens V_R (V) einer Mikrowelle zur zugeführten elektrischen Leistung V_F (V) dieser entspricht.

Aus den erhaltenen Ergebnissen wurde festgestellt, daß der Reflexionsverlust des Mikrowellen-Eintrittsfensters bei 2,48 GHz seinen niedrigsten Wert von etwa -40 dB annimmt, und die Mikrowelle bei dieser Frequenz wirksam überträgt. Jedoch wird bei der Frequenz von 2,45 GHz der Verlust zu etwa -5 dB, und es wird nahezu alle Leistung am Mikrowellen-Eintrittsfenster aus Aluminiumoxidkeramik reflektiert.

Es wird im allgemeinen gesagt, daß die Oszillationsfrequenz eines üblichen Mikrowellenoszillators von 2,45 GHz im Bereich von $2,45 \text{ GHz} \pm 30 \text{ MHz}$ liegt. Es wurde jedoch gefunden, daß tatsächlich die Kennlinie einer Magnetron-Schwingröhre eine steile und schmale Bandschwingung im Bereich von 1—5 MHz bei der Mittelfrequenz 2,45 GHz hat, wie durch die gestrichelte Linie in Fig. 2 (C) dargestellt ist.

Das bedeutet, daß dann, wenn die Mikrowellenenergie von 2,45 GHz unter Verwendung des bekannten Mikrowellen-Eintrittsfensters zu übertragen beabsichtigt ist, die übertragene Energie diejenige sein wird, die in dem durch die ausgezogene Linie und die gestrichelte Linie in Fig. 2 (C) umschlossenen Bereich liegt. Beispielsweise werden im Fall der Zufuhr einer Mikrowellenenergie von 1 kW etwa 560 W davon am Aluminiumoxidfenster reflektiert, während der Rest von nur etwa

440 W in die Reaktionskammer eingeführt wird. Wenn der Reflexionsverlust bei der Oszillationsfrequenz noch größer ist als nahezu die Menge der am Mikrowellen-Eintrittsfenster abgesperrten Mikrowellenenergie, so wird es unmöglich, die Mikrowellenenergie wirksam in die Reaktionskammer einzuführen.

In dem Fall, da die eingeführte Energie klein wird, tritt zusätzlich zu dem Obigen noch ein Problem insofern auf, als es schwierig ist, die Entladung selbst einzuleiten. Ferner setzt sich darüber hinaus die Entladung für eine lange Zeitspanne bei einem Zustand fort, wenn ein großer Reflexionsverlust auftritt, der das Problem nach sich zieht, daß das Aluminiumoxidfenster auf eine erhöhte Temperatur durch die Mikrowellenenergie aufgeheizt wird, was einen Schaden am Fenster hervorruft.

Aus der Darstellung von Fig. 2 (C) ist zu erkennen, daß ein solcher Anstieg im Reflexionsverlust in Übereinstimmung mit der Oszillationsfrequenz einer Mikrowelle als ein Ergebnis der Verschiebung der Resonanzfrequenz des Mikrowellen-Eintrittsfensters auftritt.

Als Grund dafür, daß eine effektive Frequenz vom vorgegebenen Wert verschoben wird, wird angenommen, daß die Herstellungsgenauigkeit eines Aluminiumoxidbauteils, ein Mikrowellen-Metallschirmteil, das in Umfangsrichtung am Aluminiumoxidbauteil vorgesehen ist, sein Oberflächenwiderstand usw. damit in Zusammenhang stehen.

Das bedeutet, daß ein Aluminiumoxidbauteil mit einer um ϵ größeren Abmessung als im Fall eines Mikrowellenhohlraumes als der Wellenleiter dient. Sollte beispielsweise ein Fehler von nur 0,5 mm in dieser Größenabmessung auftreten, so wird er sich für eine Mikrowelle in der gleichen Weise wie im Fall eines Hohlraumes, bei dem ein Fehler von 1,5 mm in der Größe vorhanden ist, auswirken, wodurch das Auftreten einer Verschiebung in der Größenordnung von MHz für die Resonanzfrequenz hervorgerufen wird.

An der Oberfläche des Metallschirmteils fließt ein elektrischer Strom parallel zum elektrischen Feld der Mikrowelle, wodurch eine Reflexionswelle erzeugt wird. Die Situationen, die eine Verschiebung der Resonanzfrequenz zum Ergebnis haben, unterscheiden sich fein und empfindlich in Abhängigkeit vom Metallbestandteil, vom Oberflächen-Oxidationszustand und vom Fertigungszustand.

Selbst wenn Mikrowellen-Eintrittsfenster die gleiche Gestalt haben und aus denselben Materialien bestehen, so ist es deshalb selten, daß sie die gleiche Resonanzfrequenz haben.

Im Hinblick auf die obigen Ausführungen gilt die oben genannte Berechnungsformel tatsächlich nur zu Zwecken einer Annäherung.

Zusätzlich dazu, daß Keramiken nicht auf einfache Weise bearbeitet werden können, ist es nahezu unmöglich, die Resonanzfrequenz fein oder empfindlich zu justieren, indem die Form der Keramik entsprechend eingerichtet wird. Deshalb ist es notwendig, geeignete Mittel und Maßnahmen zu finden, die es ermöglichen, auf einfache Weise und genau die Oszillationsfrequenz einer Mikrowelle abzustimmen.

Auf der Grundlage dieser Resultate hat der Erfinder weitere Untersuchungen vorgenommen, die sich auf die Einregelung des Resonanzzustandes eines Mikrowellen-Eintrittsfensters konzentrieren, und als Ergebnis hat sich herausgestellt, daß es möglich ist, den Resonanzzustand reversibel einzuregulieren, indem die Struktur des für die Mikrowelle durchlässigen dielektrischen Materials, das für ein Mikrowellen-Eintrittsfenster zu verwenden

ist, in geeigneter Weise verändert wird.

Beispielsweise ist es bei einem Mikrowellen-Eintrittsfenster mit einer zirkularen Resonanzstruktur eines TE_{111} -Resonanzwellentyps möglich, in Aufeinanderfolge die Resonanzfrequenz zu einer Hochfrequenzseite hin zu verschieben, indem eine Mehrzahl von Aluminiumoxid-Dünnschichten mit dem gleichen Radius in der Richtung der Mikrowellen-Übertragung (d. h. in der Dickenrichtung des Aluminiumoxids) aufeinandergelegt wird. Es ist auch möglich, die Resonanzfrequenz in Aufeinanderfolge zu einer Niederfrequenzseite zu verschieben, indem eine Mehrzahl von Aluminiumoxidblöcken, die jeweils einen kleinen Radius haben, an der Stelle, die rechtwinklig zu den elektrischen Kraftlinien liegt und an der die elektrischen Kraftlinien innerhalb des elektromagnetischen Wellentyps auf der planen Oberfläche konvergiert werden, angeordnet oder aufeinandergelegt wird. Es ist ferner möglich, lediglich den Reflexionsverlust ohne eine Änderung der Resonanzfrequenz einzuregulieren, indem die oben genannten Blöcke in der Mitte einer kreisförmigen Aluminiumoxidplatte gestapelt werden. Des weiteren hat es sich bestätigt, daß diese Einregelungen oder Justierungen der Resonanzfrequenz in der Praxis reversibel und wiederholbar ausgeführt werden können.

Auf der Grundlage der Ergebnisse, die oben herausgestellt wurden, wurde die Erfindung konzipiert. Die Merkmale der Vorrichtung zur Ausbildung einer funktionellen Abscheidungsschicht unter Verwendung eines MW-PCVD-Verfahrens gemäß der Erfindung sind darin zu sehen, daß das für eine Mikrowelle durchlässige dielektrische Material für das Mikrowellen-Eintrittsfenster zur Verwendung kommt und dessen Gestalt derart ausgebildet wird, daß es mit einer Mikrowellen-Oszillationsfrequenz in Resonanz kommt, wobei das Fenster einen derartigen Aufbau hat, daß das dielektrische Material geteilt ist oder nach Wunsch bzw. Erfordernis zusätzlich mit einem anderen dielektrischen Material kombiniert wird, und zwar in der Weise, daß es eine geeignete Einregelung der Charakteristik der Resonanzfrequenz und des elektromagnetischen Resonanzwellentyps ermöglicht.

Als ein Ergebnis der Bestätigung der Tatsache, daß die Resonanzfrequenz mit Hilfe einer Kombination der aus dielektrischem Material mit einer spezifischen Dielektrizitätskonstanten von mehr als 1,0 gebildeten Strukturen verschoben werden kann, ist der Erfinder zu dem Resultat gelangt, daß die Grundlage dieser Tatsache in der bewußten, gezielten Einregelung des elektromagnetischen Resonanzwellentyps beruht.

Deshalb wird gemäß dem grundsätzlichen Prinzip der Erfindung das auf der kreisförmigen Aluminiumoxidplatte zu stapelnde dielektrische Material ausreichend sein, solange es eine spezifische Dielektrizitätskonstante größer als 1,0 hat, d. h., solange es die elektrischen Felder verändern kann. Beispielsweise wird im Fall der Verwendung eines Quarzglases mit einer spezifischen Dielektrizitätskonstanten von 3,5 und mit der gleichen Gestalt sowie der gleichen Anordnung wie im Fall von Aluminiumoxid der Verschiebungswert der Resonanzfrequenz in erwünschter Weise klein, so daß es dadurch möglich wird, eine feinere oder empfindlichere Einregelung durchzuführen.

Bei der Vorrichtung gemäß der Erfindung ist es möglich, bewußt und gezielt den elektromagnetischen Wellentyp in Abhängigkeit vom dielektrischen Material gemäß dem Anordnungszustand des dielektrischen Blocks umzuwandeln. Das bedeutet, daß der TE_{111} -Wellentyp

an einem zirkularen Wellenleiter zu einem TE_{111} -Wellentyp einer Koaxialleitung umgewandelt werden kann, indem ein Aluminiumoxidblock in zentrischer Lage auf die kreisförmige Platte aufgesetzt wird, um dadurch die Möglichkeit zu haben, die lokale, auf einer ungleichen Verteilung der im dielektrischen Material durch die Mikrowellenenergie erzeugten Hitze beruhende Überhitzung zu verhindern und die Plasmadichte im Reaktionsraum zu vergleichmäßigen.

Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung konzentriert sich für das geteilt in der Richtung der Mikrowellenübertragung gestapelte Mikrowellen-Eintrittsfenster die elektrische Ladung an der Grenzfläche zwischen den gestapelten Schichten, so daß die Erzeugung einer winzigen Reflexion für die Mikrowelle hervorgerufen wird. Das verhindert jedoch nicht eine Übertragung der Mikrowelle, sondern zieht die Erzeugung von vielfachen Interferenzen wegen der Reflexionswelle nach sich, um für die Mikrowelle eine Anti-Reflexionswirkung hervorzurufen und damit als Ergebnis den Reflexionsverlust zu vermindern.

Ferner müssen bei der Vorrichtung gemäß der Erfindung die geteilt gestapelten Materialien nicht notwendigerweise die gleichen sein. Das geeignete Kombinieren der Materialien, die unterschiedliche spezifische Dielektrizitätskonstanten haben, macht es möglich, ein Mikrowellen-Eintrittsfenster zu fertigen, das erwünschte Breitband-Resonanzfrequenzkennlinien hat.

Die Erfindung wird unter Bezugnahme auf die Zeichnungen erläutert. Es zeigt

Fig. 1(A) bis 1(L) schematische Schnitt- oder Perspektivdarstellungen von erfindungsgemäßen Mikrowellen-Eintrittsfenstern und deren Frequenzkennlinien;

Fig. 2(A) bis 2(C) schematische Perspektivdarstellungen von bekannten Vorrichtungen zur Ausbildung einer funktionellen Abscheidungsschicht mit Hilfe eines MW-PCVD-Verfahrens und die Frequenzkennlinien der bei diesen verwendeten Mikrowellen-Eintrittsfenster;

Fig. 3(A) und 3(B) Perspektivdarstellungen von weiteren bekannten Vorrichtungen zur Ausbildung einer funktionellen Abscheidungsschicht mittels des MW-PCVD-Verfahrens;

Fig. 4(A) eine schematische Darstellung einer elektrischen Feldverteilung in einem koaxialen TE_{111} -Resonanzwellentyp;

Fig. 5 eine schematische Darstellung einer elektrischen Feldverteilung in einem zirkularen TE_{011} -Resonanzwellentyp.

Es werden repräsentative Ausführungsformen einer verbesserten Vorrichtung zur Ausbildung einer funktionellen Abscheidungsschicht mittels eines MW-PCVD-Verfahrens gemäß der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen im einzelnen erläutert, wobei diese Erläuterung den Rahmen der Erfindung in keiner Weise begrenzt.

Die Fig. 1 zeigt Beispiele zur Justierung eines Mikrowellen-Eintrittsfensters des bekannten TE_{111} -Wellentyps in einer Vorrichtung zur Ausbildung einer funktionellen Abscheidungsschicht mittels des MW-PCVD-Verfahrens gemäß der Erfindung.

In Fig. 1(A) ist schematisch ein Querschnitt eines bekannten Aluminiumoxidfensters 2 dargestellt, das aus zwei Aluminiumoxidplatten 9 und 10 von jeweils 1,0 cm Dicke gebildet ist, wobei die Seitenwand der Platte 10 auf der Seite der Plasmen kegelförmig ausgebildet ist. Die Fig. 1(B) zeigt dessen Frequenzkennlinie, wobei die gestrichelte Linie die Kennlinie des bekannten Mikro-

wellen-Eintrittsfensters darstellt. Der Fig. 1 (B) ist zu entnehmen, daß sich die Resonanzfrequenz zur Niederfrequenzseite hin verschiebt. Der Verschiebungswert dieser Resonanzfrequenz hängt vom Kegelwinkel Θ ab, was bedeutet, daß ein großer Kegelwinkel einen großen Verschiebungswert zur Niederfrequenzseite hervorbringt.

In Fig. 1 (C) ist ein schematischer Querschnitt eines Fensters, bei dem eine Aluminiumoxidplatte 11 mit einer Dicke von 0,2 cm und einem Durchmesser, der nicht größer ist als $2a$, auf die Aluminiumoxidplatte 9 gesetzt ist. Die Fig. 1 (D) zeigt dessen Frequenzkennlinie, wobei die gestrichelte Linie die in Fig. 1 (B) dargestellte Kennlinie des Fensters vor dem Aufsetzen der Aluminiumoxidplatte mit einer Dicke von 0,2 cm wiedergibt. Der Fig. 1 (D) ist zu entnehmen, daß der Resonanzpunkt sich um etwa 30 MHz weiter zur Hochfrequenzseite verschiebt.

Der Fall des Aufsetzens einer weiteren Aluminiumoxidplatte 12 mit einer Dicke von 0,2 cm auf das Fenster ist in Fig. 1 (E) dargestellt. Dessen Frequenzcharakteristik ist in Fig. 1 (F) gezeigt, wobei die gestrichelte Linie dessen Kennlinie vor dem Aufsetzen wiedergibt, d. h. die Kennlinie des Fensters mit nur einer aufgesetzten Aluminiumoxidplatte mit einer Stärke von 0,2 cm. Der Fig. 1 (F) ist zu entnehmen, daß sich der Resonanzpunkt um etwa 30 MHz weiter zur Hochfrequenzseite hin verschiebt.

Die Fig. 1 (G) zeigt in einer schematischen Schrägan-sicht ein Fenster, bei dem Aluminiumoxidblöcke 13 mit einer Dicke von 1,0 cm und einem Durchmesser von 2,0 cm an zwei Stellen des Fensters von Fig. 1 (C), an denen die elektrischen Kraftlinien konvergieren, angeordnet sind. Die gestrichelten Linien in Fig. 1 (G) geben die Verteilung des elektrischen Felds E (die elektrische Kraftlinie) an. Die Frequenzkennlinie dieses Fensters ist in Fig. 1 (H) dargestellt, wobei die gestrichelte Linie die Kennlinie des Fensters, das in Fig. 1 (C) gezeigt ist, wiedergibt.

Aus der Fig. 1 (H) wird deutlich, daß sich die Resonanzfrequenz um etwa 10 MHz weiter zur Niederfrequenzseite verschiebt.

In dem nicht dargestellten Fall des Aufsetzens eines weiteren Aluminiumoxidblocks von 2,0 cm Durchmesser auf jeden der Aluminiumblöcke 13 von 2,0 cm Durchmesser, die auf dem Fenster von Fig. 1 (G) angeordnet sind, verschiebt sich der Resonanzpunkt um etwa 10 MHz weiter zur Niederfrequenzseite.

Unterschiedlich zu dem in Fig. 1 (G) dargestellten Fall ändert sich, wenn die Aluminiumoxidblöcke an den Stellen angeordnet werden, an denen das Magnetfeld konvergiert, d. h. an den um 90° in der Umfangsrichtung mit Bezug auf die in Fig. 1 (G) dargestellten Blöcke gedrehten Stellen, die Frequenzlinie kaum.

Die Fig. 1 (I) zeigt in einer schematischen Perspektiv-darstellung ein Fenster, das einen in seinem Zentrum angeordneten Aluminiumoxidblock 13 aufweist, wobei dessen Frequenzkennlinie in der Fig. 1 (J) dargestellt ist. In diesem Fall verschiebt sich der Resonanzpunkt kaum, jedoch wird der Reflexionsverlust um etwa 10 dB größer.

In gleichartiger Weise zeigt die Fig. 1 (K) ein Fenster mit in seiner Mitte angeordneten fünf Aluminiumoxidblöcken, während die Fig. 1 (L) dessen Kennlinie darstellt, die zeigt, daß der Reflexionsverlust noch größer wird.

Es ist zu bemerken, daß im Fall der Anordnung des Aluminiumoxidblocks 13 im Zentrum des Fensters der

TE₁₁₁-Resonanzwellentyps des kreisförmigen Fensters verformt wird und demjenigen der Koaxiallinie nahekommt. Die Änderungen in der Verteilung des elektrischen Felds zu dieser Zeit sind in Fig. 4 (B) dargestellt. Die Fig. 4 (A) zeigt den Verteilungszustand des elektrischen Felds bei dem bekannten zirkularen TE₁₁₁-Wellentyp. Im Fall von unter Verwendung des Fensters von Fig. 4 (A) erzeugten Plasmen wird die Plasmadichte an zwei Stellen, an denen das elektrische Feld konvergiert, hoch, was als Ergebnis hat, daß die Wärmezeugung in dem Aluminiumoxidmaterial des Fensters letztlich an diesen Stellen groß wird. Jedoch wird in dem Fall des Fensters von Fig. 4 (B) ein Bereich mit einer hohen Dichte des elektrischen Felds in erwünschter Weise zerstreut, weshalb die Plasmadichte nahezu gleichförmig wird. Infolgedessen wird auch die Wärmezeugung zerstreut, was zum Ergebnis hat, daß auf einer Überhitzung beruhende Schäden in dem Fenster schwerlich auftreten werden.

Wie oben herausgestellt wurde, ist es möglich, die Resonanzfrequenz und den elektromagnetischen Wellentyp des Fensters in passender Weise einzuregulieren, indem eine geeignete Aluminiumoxidplatte oder ein solcher Block in der gewünschten Weise angeordnet wird.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform des Mikrowellen-Eintrittsfensters, das bei der Vorrichtung von Fig. 2 (B) zur Ausbildung einer funktionellen Abscheidungsschicht mittels eines MW-PCVD-Verfahrens unter Verwendung eines Mikrowellen-Oszillators mit einer Mittenfrequenz von 2,452 GHz zum Einsatz kommt, ist es vorzuziehen, einen Fensteraufbau zu verwenden, wie er in Fig. 1 (G) gezeigt ist, wobei die Reflexionsenergie der Mikrowelle bei dieser Frequenz die geringste wurde.

Im Fall der Verwendung einer anderen Art des Fensteraufbaus wird die Reflexionsenergie darin nicht kleiner als die im Fenster von Fig. 1 (G), so daß es nicht möglich ist, wirksam die Mikrowellenenergie in Plasmen einzuführen.

Es ist herauszustellen, daß der Grund, weshalb der in Fig. 1 (G) gezeigte Fensteraufbau verwendet wird, darin liegt, daß die Mittenfrequenz des in den bei dieser Ausführungsform verwendeten Mikrowellen-Oszillators eingebauten Magnetrons durch eine Änderung mit dem einregelbaren Frequenzbereich im in Fig. 1 (G) gezeigten Fenster zusammenfällt. Es ist allgemein bekannt, daß unterschiedliche Magnetrons jeweils unterschiedliche Mittenfrequenzen haben. Deshalb ist im Fall, daß die Mittenfrequenz des in den verwendeten Mikrowellenoszillator eingebauten Magnetrons 2,46 GHz ist, die in Fig. 1 (G) gezeigte Fensterstruktur zur Verwendung geeignet. In ähnlicher Weise ist im Fall der Verwendung eines Mikrowellen-Oszillators mit einer Mittenfrequenz von 2,43 GHz der Fensteraufbau von Fig. 1 (A) zur Verwendung geeignet.

In jedem Fall sollte der Aufbau des Fensters in geeigneter Weise in Abhängigkeit von der Art des zum Einsatz gelangenden Mikrowellen-Oszillators gewählt werden.

Beispiel zur Ausbildung einer funktionellen Abscheidungsschicht unter Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung

Bei diesem Beispiel wurde eine funktionelle Abscheidungsschicht auf einem Substrat unter Verwendung der in Fig. 2 (B) gezeigten Vorrichtung mit einem Mikrowellen-Eintrittsfenster 2 mit dem Aufbau von Fig. 1 (G)

unter Verwendung eines Mikrowellen-Oszillators mit einer Mittenfrequenz von 2,452 GHz gebildet.

Als Ausgangsmaterialgas kamen Silan-Gas und H_2 -Gas zum Einsatz.

Das Silan- und H_2 -Gas wurden durch eine (nicht gezeigte) Gaszufuhreinrichtung in den Schichtbildungsraum 7 jeweils mit Durchsatzmengen von 500 SCCM (cm^3/min bei Normalbedingung) und 200 SCCM (cm^3/min bei Normalbedingung) sowie unter einem Vakuumzustand von $2,66 \times 10^{-3}$ mbar eingeleitet. Gleichzeitig wurde eine Mikrowellenenergie von 1 kW mit einer Frequenz von 2,45 GHz von der Mikrowellenenergiequelle angelegt. Während der Entladung wurde die Reflexion einer Mikrowellenenergie von 100 W festgestellt. Jedoch wurde klar erkannt, daß dies nicht auf das Aluminiumoxidfenster selbst zurückzuführen war, sondern auf die im Schichtbildungsraum erzeugten Plasmen.

Es wurde eine Entladung in einem ausreichend stabilen und stetigen Zustand ausgeführt, wobei sich während der Bildung der Abscheidungsschicht für die Dauer von 1 h die Temperatur des Fensters kaum änderte.

Als Ergebnis der Prüfung einer abgeschiedenen amorphen Siliziumschicht hat sich gezeigt, daß die Abscheidungsrate 150 Å/s war, was etwa das Doppelte im Vergleich mit dem Fall ist, wenn das herkömmliche Mikrowellen-Eintrittsfenster verwendet wird.

Ferner hat sich als Ergebnis der Bewertung der resultierten Abscheidungsschicht gezeigt, daß sie trotz der hohen Abscheidungsrate erwünschte elektrische Kennwerte hat, nämlich die Dunkelleitfähigkeit von $6 \times 10^{-12} \text{ S/cm}$, und das Hell-/Dunkel-Leitfähigkeitsverhältnis lag bei 4 Stellen, die denjenigen eines bekannten erwünschten Verhältnisses vergleichbar sind.

Es ist zu bemerken, daß bei den obigen Ausführungsformen die Erläuterung sich in der Hauptsache auf das kreisförmige Aluminiumoxidfenster mit einem TE_{111} -Resonanzwellentyp bezog.

Wenn man die Orte, an denen die Aluminiumplatten oder -blöcke angeordnet werden sollen, auf diejenigen begrenzt, die durch das elektrische Feld im Fenster beeinflusst werden, und wenn die Resonanzbedingungen durch Änderung dessen Verteilung eingeregelt werden sollen, so ist es jedoch für den Resonanzwellentyp des Fensters nicht notwendig, diesen nur auf den TE_{11} -Wellentyp zu begrenzen. Deshalb ist es möglich, neben den oben erwähnten Wellentypen beispielsweise ein solches kreisförmiges Fenster zu verwenden, das einen TE_{01} -Resonanzwellentyp hat. In diesem Fall werden jedoch die elektrischen Felder konzentrisch verteilt, wie die Fig. 5 zeigt, so daß die Resonanzfrequenz verschoben wird, wenn die Blöcke im Zentrum und im kreisförmigen Umgebungsbereich dazu angeordnet werden.

Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann mit Hilfe einer einfachen Tätigkeit, nämlich dem Aufsetzen oder Anordnen einer geeigneten dielektrischen Platte oder eines geeigneten dielektrischen Blocks in passender Weise auf einem Mikrowellen-Eintrittsfenster, die Resonanzfrequenz des Mikrowellen-Eintrittsfensters in erwünschter Weise verschoben werden, so daß sie mit der Oszillationsfrequenz der Mikrowellenenergiequelle übereinstimmt, was eine erhebliche Verminderung des Reflexionsverlusts einer Mikrowelle zum Ergebnis hat. Deswegen besteht die Möglichkeit, in wirksamer Weise eine Mikrowellenenergie in den Reaktionsraum einzuführen.

Wie aus den vorstehenden Erläuterungen hervorgeht, ist es mit der ein MW-PCVD-Verfahren verwendenden

Vorrichtung, bei der ein Mikrowellen-Eintrittsfenster gemäß der Erfindung vorhanden ist, möglich, eine gewünschte Abscheidungsschicht, die aus einem amorphen Material besteht, mit einer hohen Abscheidungsrate auszubilden.

Die Erfindung offenbart eine verbesserte Vorrichtung zur Ausbildung einer funktionellen Abscheidungsschicht mit Hilfe eines chemischen Mikrowellen-Plasma-Abscheidungsverfahrens, die dadurch gekennzeichnet ist, daß ein für Mikrowellen durchlässiges dielektrisches Material als Mikrowellen-Eintrittsfenster verwendet wird und dieses Fenster einen Aufbau hat, wobei das dielektrische Material geteilt ist oder zusätzlich mit einem anderen dielektrischen Material kombiniert wird, wodurch es möglich ist, nicht nur die Kennlinie der Resonanzfrequenz zu justieren, sondern auch den elektromagnetischen Resonanzwellentyp des Fensters, so daß Resonanz mit der Mikrowellen-Oszillationsfrequenz besteht.

- Leerseite -

Nummer: 37 30 086
 Int. Cl.⁴: C 23 C 16/50
 Anmeldetag: 8. September 1987
 Offenlegungstag: 31. März 1988

3730086

FIG. 1 (A)

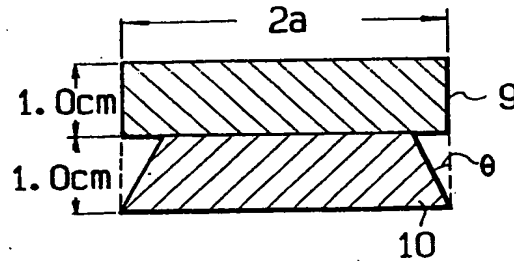
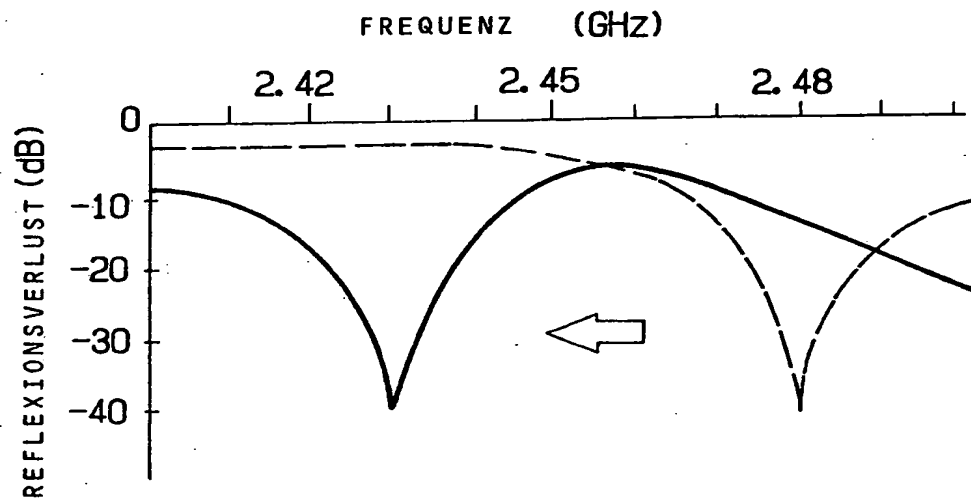


FIG. 1 (B)



3730086

FIG. 1(C)

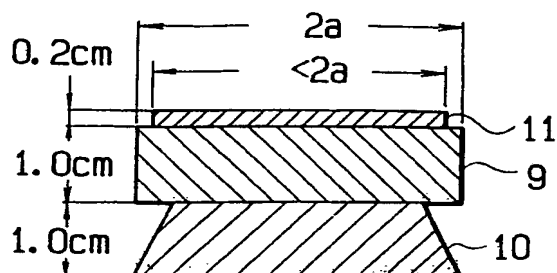
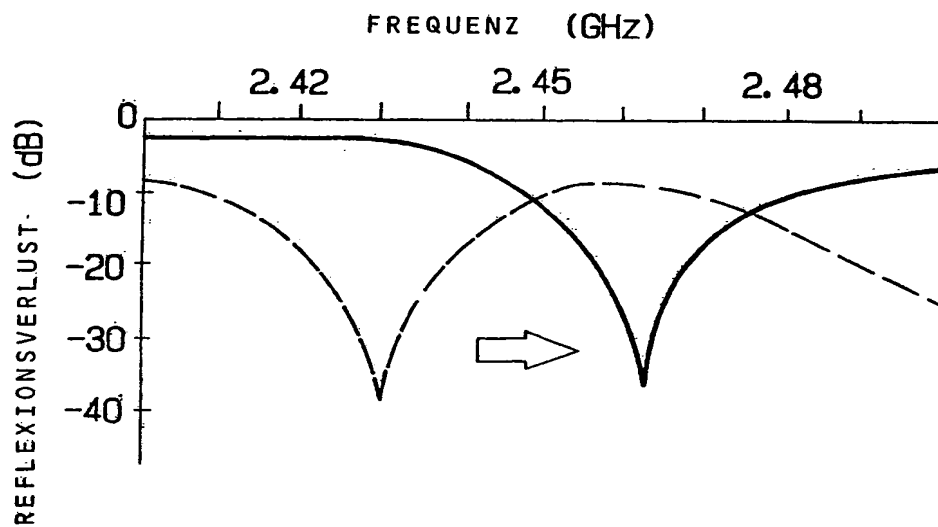


FIG. 1(D)



ORIGINAL INSPECTED

3730086

FIG. 1(E)

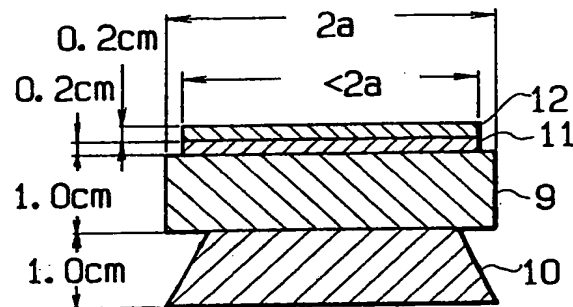
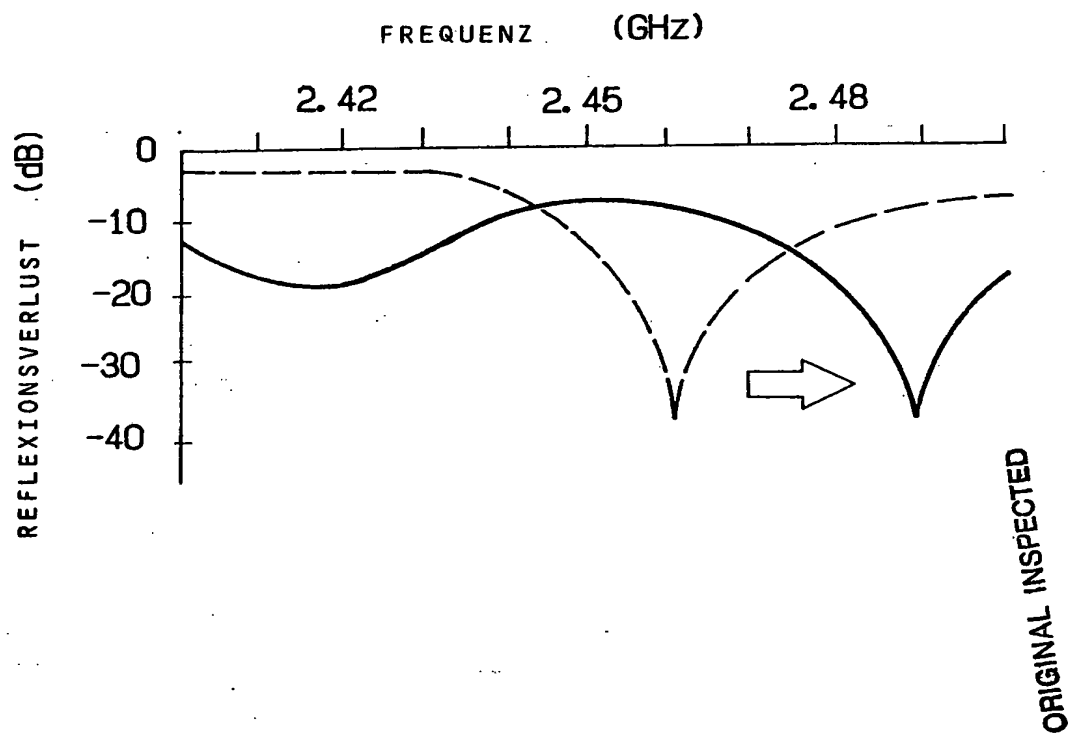


FIG. 1(F)



3730086

FIG. 1(G)

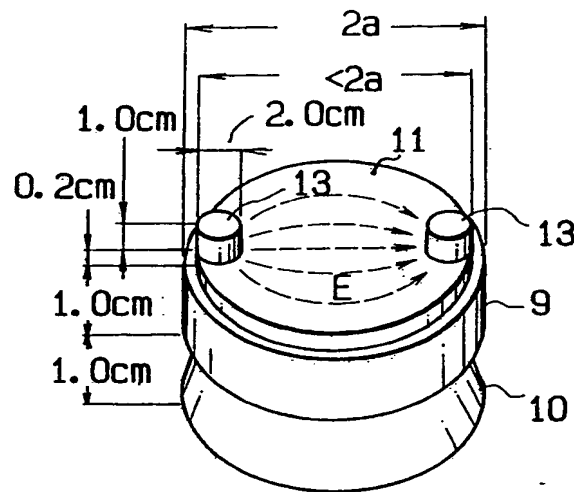
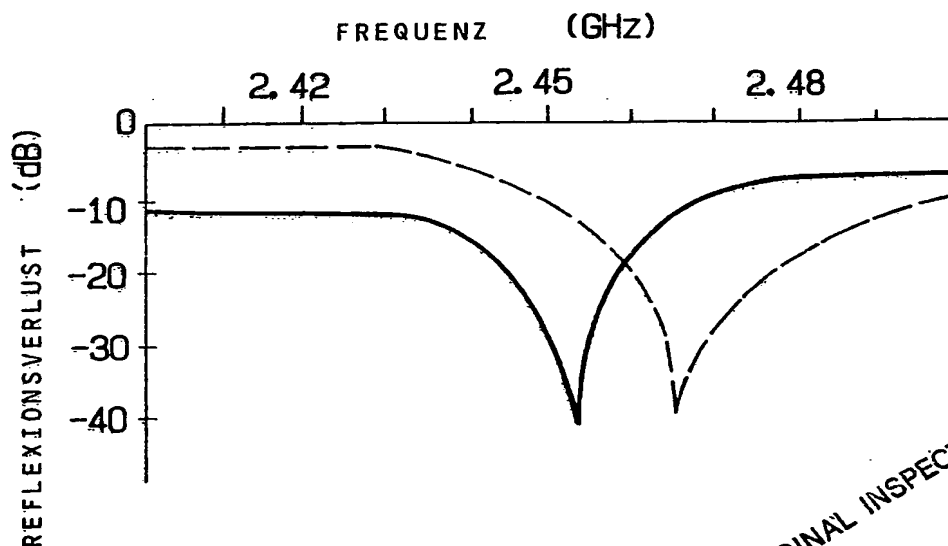


FIG. 1(H)



ORIGINAL INSPECTED

3730086

FIG. 1(I)

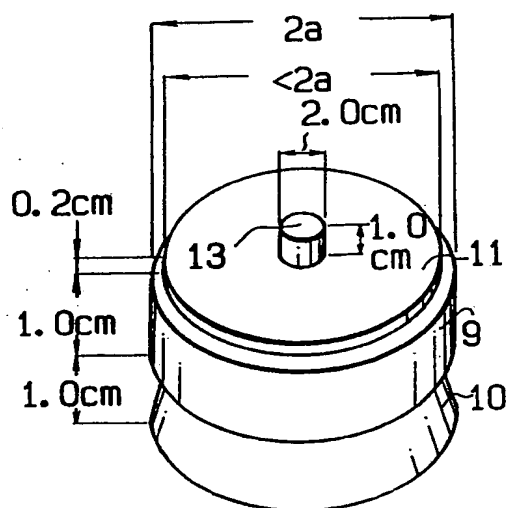
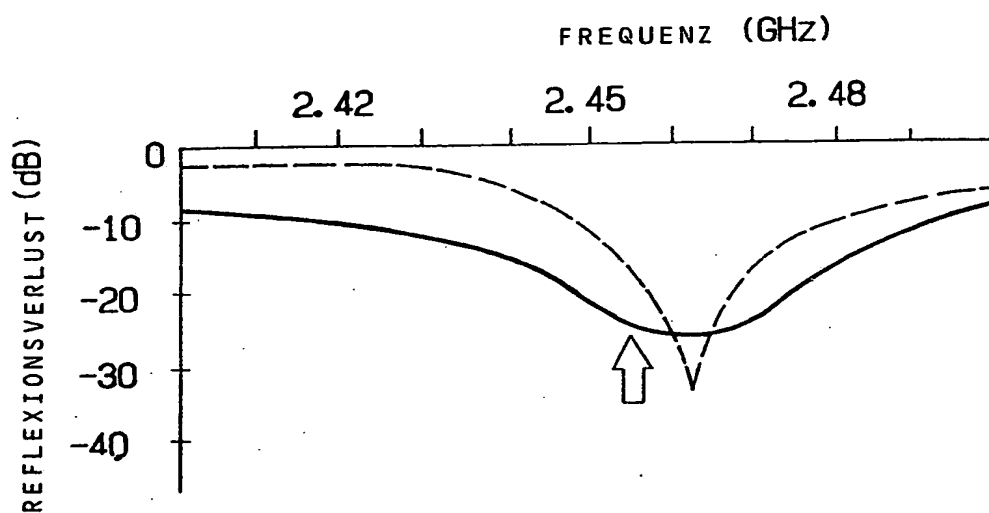


FIG. 1(J)



3730086

FIG. 1(K)

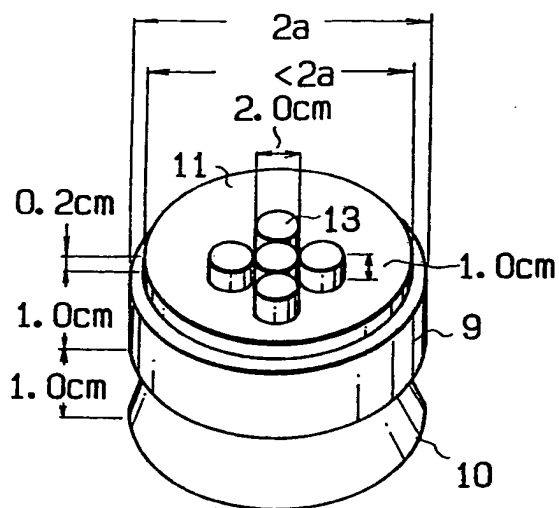
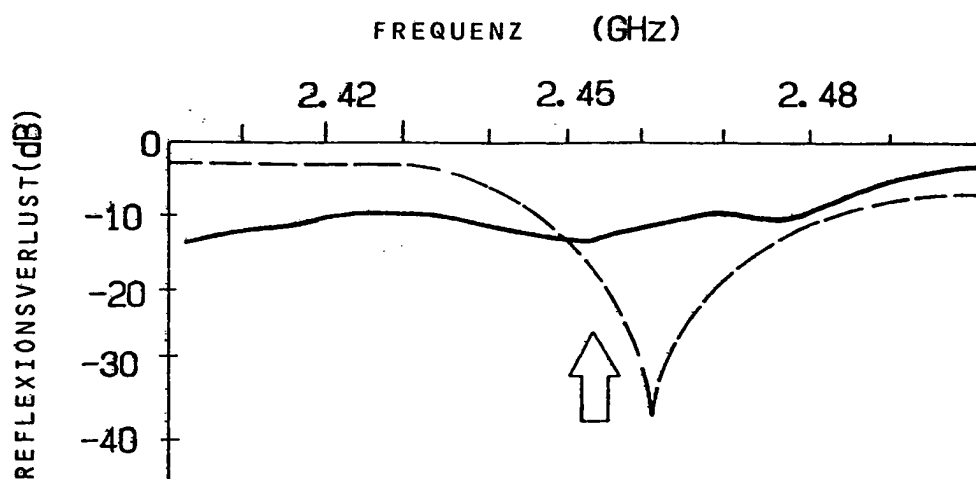
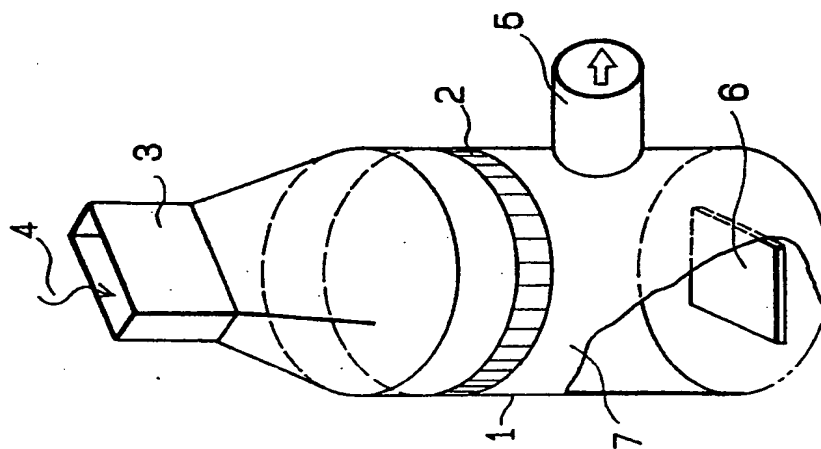


FIG. 1(L)



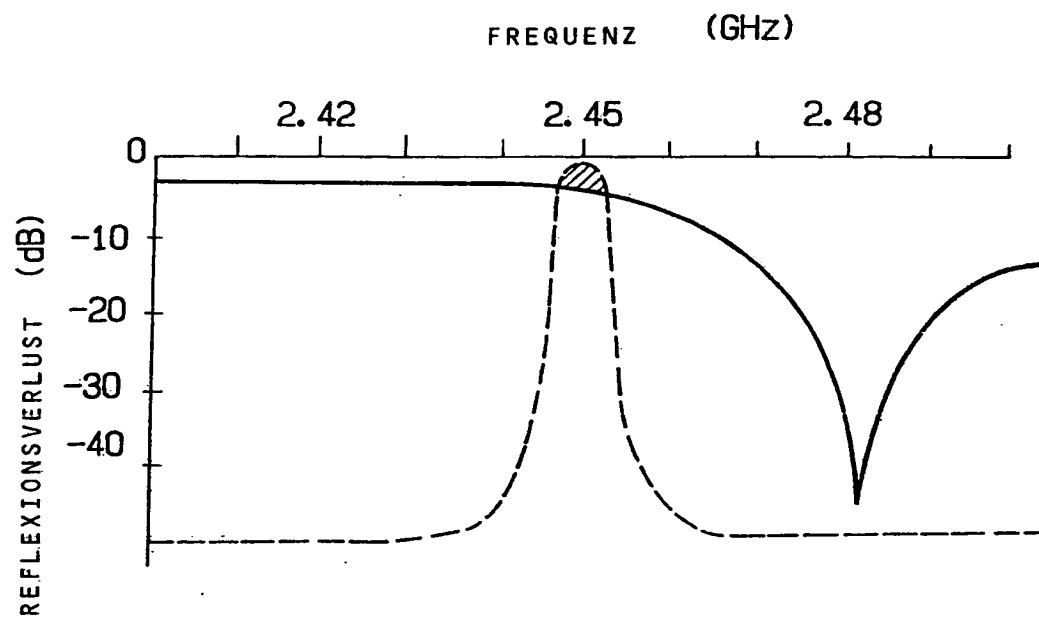
ORIGINAL INSPECTED

FIG. 2(A)



3730086

FIG. 2(C)



ORIGINAL INSPECTED

3730086

FIG. 3(B)

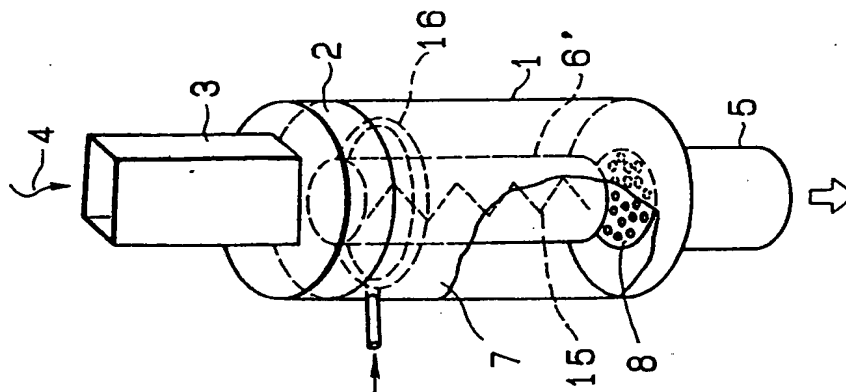
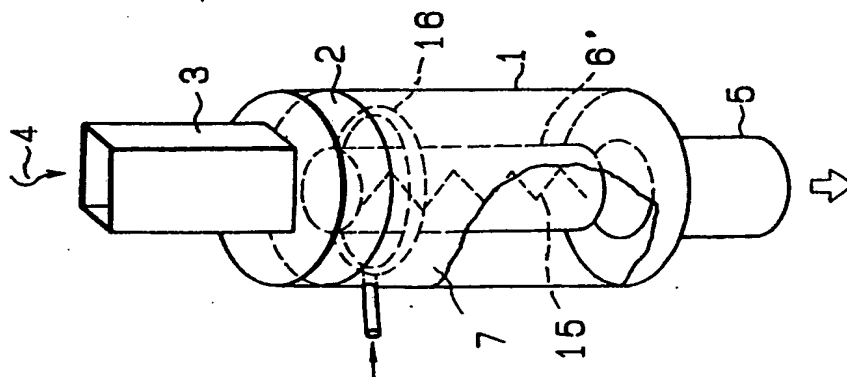


FIG. 3(A)



ORIGINAL INSPECTED

3730086

FIG. 4(A)

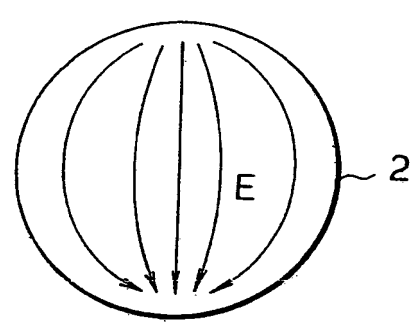


FIG. 4(B)

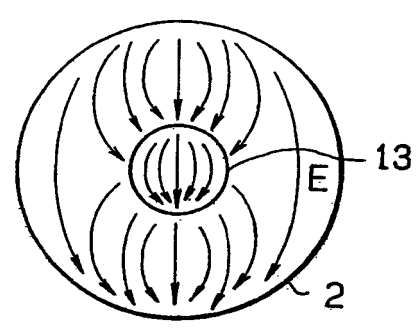
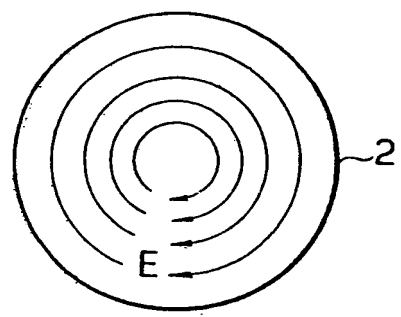


FIG. 5



ORIGINAL INSPECTED